

*С.Ю. АНДРЕЕВ*, канд. техн. наук, КП «Харьковские тепловые сети»

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ДИАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДОВ В ЗАДАЧЕ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ТРАНСПОРТНОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

У роботі розглядається задача вибору оптимальних діаметрів трубопроводів теплової мережі для систем теплопостачання залежного типу. Під час вибору забезпечується мінімум сумарних втрат енергії в системі і рівність часу транспортного запізнювання теплоносія на ділянках від котельні до теплорозподільчих станцій.

The choice of heating pipe-lines optimum diameters for dependent heat supply systems is concerned in the paper. A minimum of energy aggregate losses in the system and equality of heat-transfer agent transportation lag on the lines between boiler plants and heat-transfer stations is ensured.

**Постановка проблемы.** Работа посвящена актуальной тематике экономии топливно-энергетических ресурсов за счет применения современных компьютерных технологий при решении задач оптимального управления сложными техническими системами. В качестве примера рассматривается система теплоснабжения (СТ), упрощенная схема которой приведена на рис.

СТ состоит из отопительной котельной с  $i$  котлами КБНГ-2,5 ( $i = 1, 2$ ) с различными экономическими характеристиками; тепловой сети, в состав которой входят  $k$  участков ( $k = \overline{0, 5}$ ); теплораспределительных станций (ТРС) и отапливаемых районов (ОР),  $j = \overline{1, 4}$ .

**Анализ литературы.** Задача оптимального проектирования такой системы без учета времени транспортного запаздывания, вызванного ступенчатым изменением нагрузки на котельную, рассматривалась в работах [1 – 6]. При этом в работе [1] исследовалось влияние диаметров трубопроводов сети и места подмешивания теплоносителя на общие экономические характеристики системы, в работах [2 – 4] решалась задача оптимального выбора диаметров трубопроводной сети для зависимой и независимой систем теплоснабжения, в работе [5] исследовалось влияние потерь энергии в системе на результаты решения задачи оптимального управления этой системой и в работе [6] была разработана единая компьютерная программа оптимального проектирования СТ различных типов. В настоящей работе учитывается время транспортного запаздывания.

В качестве основных исходных данных при решении этой задачи заданы:  $G$ , [кг/с] – расход теплоносителя в системе;  $T$ , [час] – период регулирования, в течение которого нагрузка на котельную не изменяется;  $T_0$ , [час] – постоянная

времени СТ, что есть время протекания теплоносителя от котельной до ТРС и обратно.

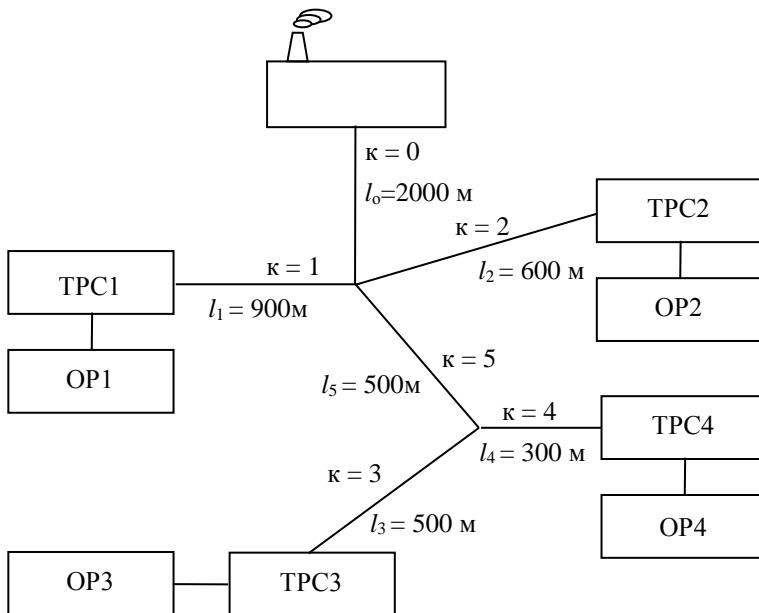


Рис. Схема системы теплоснабжения

При этом принято, что время  $T_0$  одинаково для всех участков сети, подводящих теплоноситель к каждой из ТРС, что позволяет избегать разрегулирования системы при распределении теплоты между ОР во время протекания переходного процесса. Для нахождения величины  $T_0$  необходима информация о диаметрах трубопроводов тепловой сети (ТС). Этому вопросу посвящается настоящая работа.

**Цель работы** – определить диаметры трубопроводов тепловой сети (и соответствующие им  $r_k$  – номера трубопроводов из номенклатурного ряда, где каждому  $r_k$  соответствует диаметр трубы  $d_k$ ), обеспечивающие минимум стоимости 1 МДж суммарных потерь энергии в СТ в течение отопительного сезона ( $H$ , гривен/МДж) и одинаковые величины  $T_0$  для различных ТРС.

**Математическая постановка рассматриваемой задачи принимает следующий вид.** Найти

$$\min H(d_k), \quad k = \overline{0, 5}, \quad (1)$$

$$d_k \in \Omega$$

где область  $\Omega$  определена соотношениями, выполнение которых обеспечивает равенство величин  $T_0$ , то есть  $T_0 = \text{const}$  для различных ТРС.

Решение задачи реализуется на двух иерархических уровнях.

На первом иерархическом уровне рассчитываются значения диаметров  $d_k$ , входящие в состав  $\Omega$ . Исходными данными для решения этой задачи служат длины участков  $l_0=2000$  м,  $l_1=900$  м,  $l_2=600$  м,  $l_3=500$  м,  $l_4=300$  м,  $l_5=500$  м и расходы теплоносителя в них  $G_0=55$  кг/с,  $G_1=12,33$  кг/с,  $G_2=13,27$  кг/с,  $G_3=15,17$  кг/с,  $G_4=14,22$  кг/с,  $G_5=29,4$  кг/с, где  $G_k$  – расход теплоносителя в  $k$ -м трубопроводе ( $k=0, 5$ ). Для того, чтобы обеспечить равенство величин  $T_0$  для разных ТРС, необходимо выполнение следующих соотношений

$$\tau_0 + \tau_1 = \tau_0 + \tau_2 = \tau_0 + \tau_5 + \tau_3 = \tau_0 + \tau_5 + \tau_4, \quad (2)$$

где  $\tau_k$ ,  $k = \overline{0, 5}$  – время прохождения теплоносителя через  $k$ -й участок трубопровода.

Далее, задавшись величинами диаметров участков трубопроводов  $d_k$  и принимая заданные исходные данные, несложно определить величины  $\tau_0 \div \tau_5$ , а варьируя  $d_k$ , найти такие их комбинации, которые обеспечивают выполнение условия (2). При этом достаточно задаться величинами  $d_0$ ,  $d_3$  и  $d_5$ , чтобы однозначно определить  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_4$  при условии выполнения соотношения (2).

Действительно,  $\tau_4 = \tau_3$  или  $\frac{\pi \cdot l_4 \cdot d_4^2}{4 \cdot G_4} = \frac{\pi \cdot l_3 \cdot d_3^2}{4 \cdot G_3}$ . Тогда

$$d_4 = d_3 \cdot \sqrt{\frac{l_3 \cdot G_4}{l_4 \cdot G_3}}. \quad (3)$$

Для рассматриваемых исходных данных

$$d_4 = 1,25 d_3. \quad (4)$$

Аналогично рассчитываются  $d_1$  и  $d_2$ . Таким образом, задавшись значениями  $d_0$ ,  $d_3$  и  $d_5$  (или соответствующими им  $r_0$ ,  $r_3$  и  $r_5$ ) определяем величины  $d_1$ ,  $d_2$  и  $d_4$  ( $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_4$ ), которые все вместе обеспечивают выполнение (2), то есть входят в область  $\Omega$ .

В качестве примера в таблице приведены некоторые комбинации величин  $r_0$ ,  $r_3$  и  $r_5$ . Там же приведены значения  $H$ , которые оценивались для рассчитанных выше значений  $r_0$ ,  $r_3$ ,  $r_5$  и  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_4$  с помощью программных комплексов, описанных в [2].

Далее решается задача второго иерархического уровня, где из области  $\Omega$ , представленной в таблице, выбираются комбинации значений  $r_0$ ,  $r_3$ ,  $r_5$ , при которых целевая функция  $H$  достигает минимума. В процессе решения задачи второго уровня для заданных комбинаций  $r_0$ ,  $r_3$  и  $r_5$  с помощью приведенных выше формул определяются значения  $r_1$ ,  $r_2$  и  $r_4$ , а затем величина  $H$  [2]. Варьируя величины  $r_0$ ,  $r_3$  и  $r_5$  находим такие их значения, которые обеспечивают минимум  $H$ . Для этого поиска используется метод покоординатного спуска [7, 8]. В этих работах рассматриваются различные методы нелинейного математического программирования. В результате

решения задачи получаем оптимальные значения  $r_0^{\text{опт}} = 9$  ( $d_0^{\text{опт}} = 0,309$  м);  $r_1^{\text{опт}} = 5$  ( $d_1^{\text{опт}} = 0,15$  м);  $r_2^{\text{опт}} = 7$  ( $d_2^{\text{опт}} = 0,207$  м);  $r_3^{\text{опт}} = 6$  ( $d_3^{\text{опт}} = 0,184$  м);  $r_4^{\text{опт}} = 7$  ( $d_4^{\text{опт}} = 0,207$  м);  $r_5^{\text{опт}} = 7$  ( $d_5^{\text{опт}} = 0,207$  м);  $H_{\min} = 0,00318$  грн/МДж.

Зная величины расходов теплоносителя  $G_K$  в трубопроводах и их диаметры, несложно рассчитать период оборота теплоносителя в сети  $T_0$ . В рассматриваемом случае  $T_0 \approx 2$  часа.

Таблица

Значения  $r_0$ ,  $r_3$  и  $r_5$ , обеспечивающие выполнение соотношения (2), и соответствующие им  $H$ , грн/с

$r_0$	$r_3$	$r_5$	$H$ , грн/с
9	5	7	0,00323
9	6	7	0,00318
9	7	7	0,00320
9	6	8	0,00320
9	6	6	0,00323
8	6	7	0,00327
10	6	7	0,00330

**Выводы.** При выборе оптимальных диаметров трубопроводов СТ необходимо учитывать время транспортного запаздывания теплоносителя, вызванное ступенчатым изменением нагрузки на котельную в процессе управления отпуском теплоты.

**Список литературы:** 1. Федоров А.П. Исследование влияния места подмешивания теплоносителя на экономическую эффективность отопительной системы в целом // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБіА, ХОТВАБУ. – 1999. – № 6. – С. 154–159. 2. Андреев С.Ю. Выбор оптимальных диаметров трубопроводов тепловых сетей при их реконструкции // Науковий вісник будівництва. Х.: ХДТУБіА, ХОТВАБУ. – 2000. – № 9. – С. 195–198. 3. Андреев С.Ю. Рациональные методы реконструкции городских систем теплоснабжения. – Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. научн.-тех. сб. – К.: Техніка, 2001. – № 27. – С. 216–222. 4. Стоянов Ф.А., Андреев С.Ю. Выбор оптимальных диаметров трубопроводов в отопительных системах различных типов. – Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. научн.-тех. сб. – К.: Техніка, 2002. – № 42. – С. 121–126. 5. Стоянов Ф.А., Андреев С.Ю. Исследование влияния потерь энергии в системе теплоснабжения на оптимальное управление отопительными котельными // Вестник НТУ “ХПИ”. – Х.: НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 46. – С. 50–55. 6. Стоянов Ф.А., Андреев С.Ю., Шевченко Л.П. Методы системного анализа в задачах оптимального проектирования централизованных систем теплоснабжения: Учеб. пособие. – Х.: 2005. – 135 с. 7. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 536 с. 8. Стоянов Ф.А. Оптимальное автоматизированное проектирование проточных частей осевых турбин. – К.: Наук. думка, 1989. – 176 с.

Поступила в редакцию 14.04.2005